

# **Cursus Stralingsbeschermings- deskundige**

---

## **Inwendige besmetting**

**A.S. Keverling Buisman**

# Inwendige besmetting

## Indeling

- Verschil externe/intern
- Kwalitatief
- Model algemeen
- Model maagdarmkanaal
- Model ademhalingswegen
- Speciale gevallen
- Handboek Radionucliden
- Praktijk



# Verskil extern en intern

	Intern	Extern
Afstand	= 0	Mogelijk
Afscherming	= 0	Mogelijk
Tijd 2	4 h/d	Variabel
Dosisbepaling	Indirect	Dosimeter
Effect	Geen verschil	

# Kwalitatief



- Radioactieve stof treedt binnen via
  - Mond (Ingestie)
  - Luchtwegen (Inhalatie)
  - Huid (Injectie, diffusie)

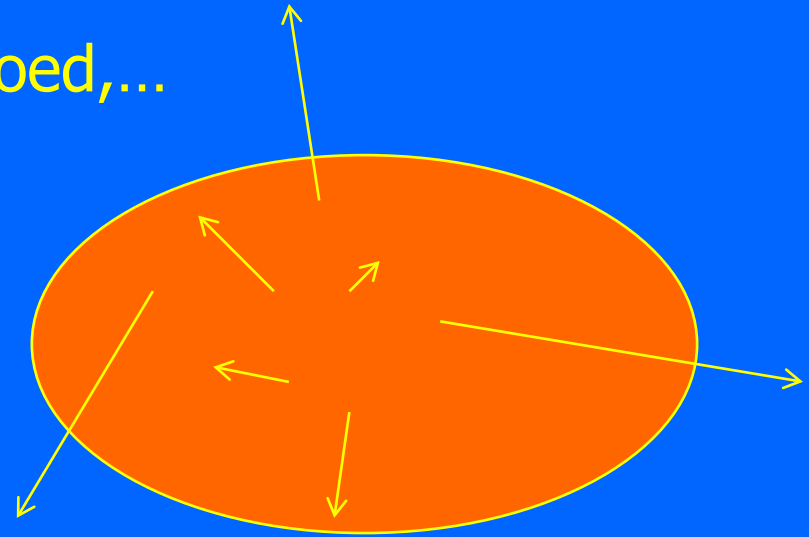
# Kwalitatief: renogram



# Bronorgaan

---

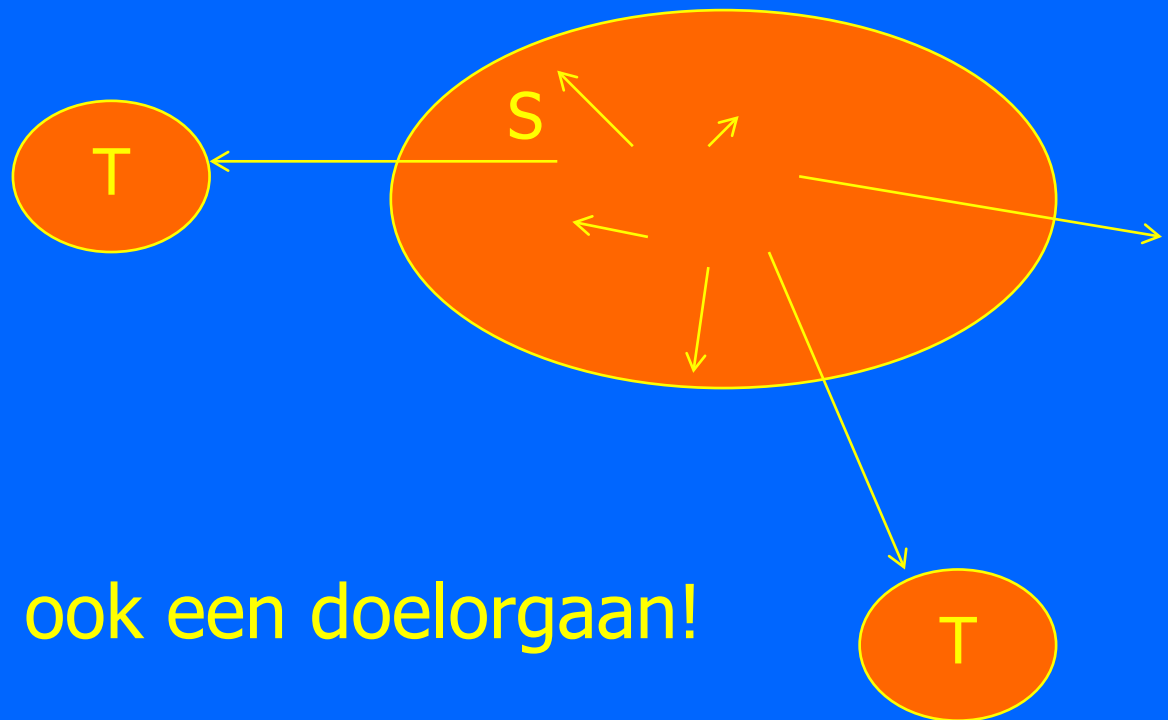
- Verblijf in orgaan
  - Maag, long, lever, bot, bloed,...



- Bronorgaan S
- Activiteit bestraalt orgaan en omliggende organen!

# Doelorgaan

- Bestraald orgaan heet doelorgaan T

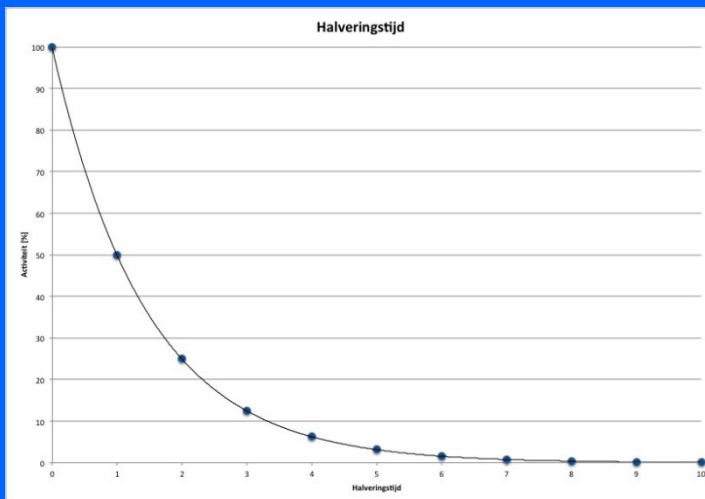


- Bronorgaan is ook een doelorgaan!

# Verblijftijd

Activiteit in bronorgaan verdwijnt door

- Radioactief verval (fysische halveringstijd)
- Transport (biologische halveringstijd)





# Integratieperiode



- Speciaal geval:
- Lange halveringstijd en langdurig verblijf:
- Dosisberekening tot 50 jaar (volwassenen)
- tot het 70<sup>e</sup> levensjaar (kinderen)

Voorbeeld:  $^{239}\text{Pu}$  in bot

# Equivalentente volgdosis



Als alle activiteit weg is (of na 50/70 j) is er een totale orgaandosis: **Volgdosis**  
(Equivalentente volgdosis)

Aangeduid als  $H_T(50)$  of  $H(\tau)$   
Bijvoorbeeld  $H_{\text{LEVER}}(50)$  in Sv.

# Effectieve volgdosis

Elk orgaan heeft zijn eigen weefselweegfactor  $w_T$   
 $w_T$  is relatieve gevoeligheid van orgaan T voor  
kankerinductie en genetische effecten

Effectieve volgdosis E is

$$E(50) = \sum_T w_T H_T$$

met  $\sum_T w_T = 1$

# Weefselweegfactoren $w_T$

Gonaden	0,08
Rood beenmerg, long, dikke darm, maag, borst	0,12
Blaas, lever, slokdarm, schildklier	0,04
Botoppervlak, huid	0,01
Rest samen	0,12

# Dosisconversiecoëfficiënt




Effectieve volg dosis bij inname van 1 Bq heet

Dosisconversiecoëfficiënt  $e(50)$

Eenheid: Sv/Bq

$e(50)$  is het eindresultaat van vele parameters!  
(halveringstijden, stralingssoort, weegfactoren, ....)

# Gebruik van $e(50)$



Bij inname  $A_{in}$  is de effectieve volgdosis te vinden met:

$$E(50) = A_{in} e(50)$$

$A_{in}$  in Bq;  $e(50)$  in Sv/Bq;  $E(50)$  in Sv

Volgdosis toekennen aan jaar van inname!

# Dosisconversiecoëfficiënt

Orde van grootte:

Voor  $\beta\gamma$  stralers:  $10^{-10}$  tot  $10^{-8}$  Sv/Bq

Voor alfa-stralers:  $10^{-7}$  tot  $10^{-5}$  Sv/Bq

Voor  $E(50) = 1$  mSv is nodig een inname van  
1 MBq van een  $\beta\gamma$  straler of  
1 kBq van een alfa-straler.

# Waar e(50) te vinden?

In Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming, (ANVS-verordening) verwijst naar ICRP-119

ICRP Publication 119

Table A.1. (continued)

Nuclide	$T_{1/2}$	Inhalation				Ingestion	
		Type	$f_1$	$e$ (Sv/Bq) (1 $\mu\text{m}$ )	$e$ (Sv/Bq) (5 $\mu\text{m}$ )	$f_1$	$e$ (Sv/Bq)
P-33	25.4 d	F	0.8	9.6E-11	1.4E-10	0.8	2.4E-10
		M	0.8	1.4E-09	1.3E-09		
<b>Sulphur</b>							
S-35	87.44 d	F	0.8	5.3E-11	8.0E-11	0.8*	1.4E-10
		M	0.8	1.3E-09	1.1E-09	0.1*	1.9E-10
		See Table B.1 for inhalation of organic sulphur				1.0 <sup>†</sup>	7.7E-10
<b>Chlorine</b>							
Cl-36	3.01E5 y	F	1.0	3.4E-10	4.9E-10	1.0	9.3E-10
		M	1.0	6.9E-09	5.1E-09		
Cl-38	37.21 m	F	1.0	2.7E-11	4.6E-11	1.0	1.2E-10
		M	1.0	4.7E-11	7.3E-11		
Cl-39	55.6 m	F	1.0	2.7E-11	4.8E-11	1.0	8.5E-11
		M	1.0	4.8E-11	7.6E-11		



# Waar e(50) te vinden?

In Radionuclide Handbook:

## P-33 gegevens

### Ingestion

Compound	$f_A$	e(50) (Sv/Bq)
All	0,8	$2,7 \times 10^{-10}$

### Inhalation

Compound	Class	AMAD ( $\mu\text{m}$ )	e(50) (Sv/Bq)
$\text{Na}_3^{33}\text{PO}_4$	F	1	$1,8 \times 10^{-10}$
	F	5	$2,4 \times 10^{-10}$
$\text{Sn}_3(^{33}\text{PO}_4)_2, \text{Y}^{33}\text{PO}_4,$ $\text{Zn}_3(^{33}\text{PO}_4)_2$ and unspecified $^{33}\text{P}$	M	1	$4,3 \times 10^{-10}$
	M	5	$3,1 \times 10^{-10}$

# Hoe vind ik inname $A_{in}$ ?

$$E(50) = A_{in} e(50)$$

$A_{in}$  in Bq;

- 1) Veronderstelling (stel dat...) bv. bij RI&E
- 2) Luchtconcentratie
- 3) Meting (Totale lichaam, schildklier, neus)
- 4) Meting van excretie

# Samenvatting van begrippen

---

- Bronorgaan (waar activiteit zit)
- Doelorgaan (waar dosis wordt ontvangen)
- Halveringstijden (fysisch/biologisch)
- Integratieperiode (50j/70 j)
- (Equivalente) volgdosis  $H(50)$  of  $H(\tau)$
- Effectieve volgdosis  $E(50)$  of  $E(\tau)$
- Dosisconversiecoëfficiënt  $e(50)$  of  $e(\tau)$   
en waar deze te vinden is.

# Berekening van $e(50)$



Wat volgt is de berekeningwijze van de dosisconversiecoëfficiënt  $e(50)$  of  $e(\tau)$ .

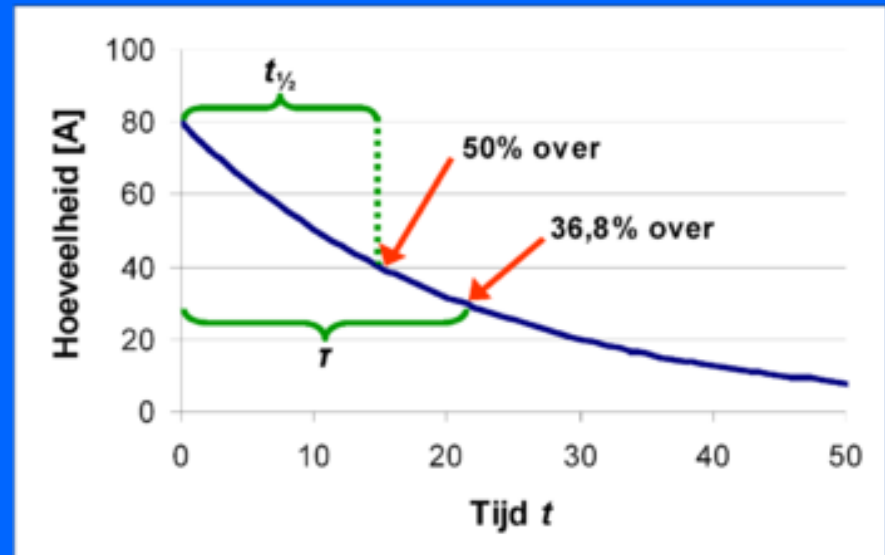
# Verval in bronorgaan

Fysische halveringstijd  $T_{1/2,R}$

met vervalsconstante  $\lambda_R (= \ln 2/T_{1/2,R})$

Gemiddelde levensduur is  $T_m = 1/\lambda_R$

$$A(t) = A(0) \exp(-\lambda_R t) =$$
$$A(0) \exp(-\ln 2 t/T_{1/2,R}) =$$
$$A(0) \exp(-t/T_m)$$



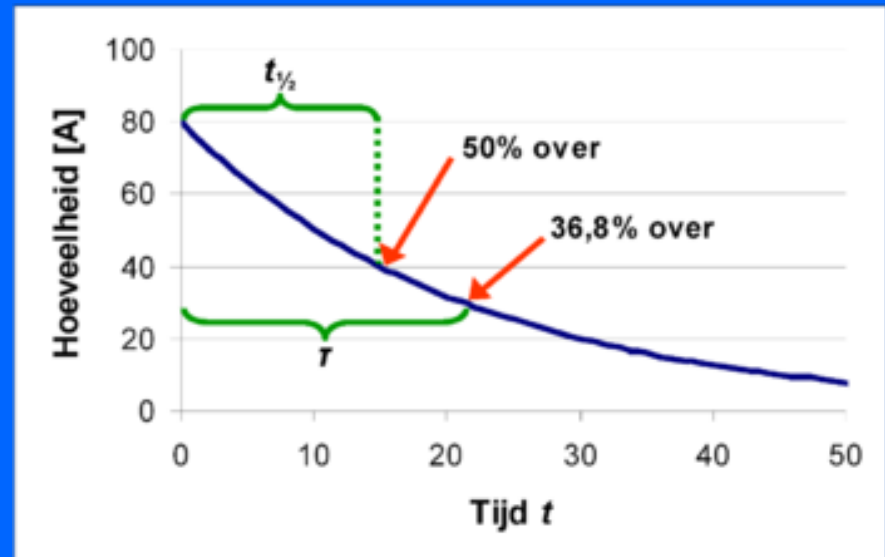
# Biologische halveringstijd

Biologische halveringstijd  $T_{1/2,B}$

met transportconstante  $\lambda_B (= \ln 2/T_{1/2,B})$

Gemiddelde verblijftijd is  $T_{m,B} = 1/\lambda_B$

$$\begin{aligned} A(t) &= A(0) \exp(-\lambda_B t) = \\ &= A(0) \exp(-\ln 2 t/T_{1/2,B}) = \\ &= A(0) \exp(-t/T_{m,B}) \end{aligned}$$



# Effectieve halveringstijd

Effectieve verwijdering (ra+biol)

$$A(t) = A(0) e^{-[\lambda_R + \lambda_B]t}$$

Dus  $\lambda_{\text{eff}} = \lambda_R + \lambda_B$

$$1/T_{m,\text{eff}} = 1/T_{m,R} + 1/T_{m,B}$$

$$1/T_{1/2,\text{eff}} = 1/T_{1/2,R} + 1/T_{1/2,B}$$

# Voorbeelden

Schildklier  $T_{1/2,B} = 90 \text{ d}$  (geldt voor element I)

$$\lambda_B = \ln 2/90 = 0,0077 \text{ d}^{-1}$$

$^{131}\text{I}$ :  $T_{1/2,R} = 8 \text{ d}$  dus  $\lambda_R = \underline{0,087 \text{ d}^{-1}}$

Dus  $\lambda_{\text{eff}} = \lambda_B + \lambda_R = 0,0947 \text{ d}^{-1}$

en  $T_{1/2, \text{eff}} = \ln 2/\lambda_{\text{eff}} = 7,3 \text{ d}$

$^{129}\text{I}$ :  $T_{1/2,R} = 1,6 \times 10^7 \text{ j}$ ;  $T_{1/2, \text{eff}} = 90 \text{ d}$

$^{124}\text{I}$ :  $T_{1/2,R} = 4,2 \text{ d}$ ;  $T_{1/2, \text{eff}} = 4,0 \text{ d}$

$^{123}\text{I}$ :  $T_{1/2,R} = 0,55 \text{ d}$ ;  $T_{1/2, \text{eff}} = 0,55 \text{ d}$



# Extreme gevallen

---

$$1) T_{1/2,R} \ll T_{1/2,B} : T_{1/2,eff} = T_{1/2,R}$$

$$2) T_{1/2,B} \ll T_{1/2,R} : T_{1/2,eff} = T_{1/2,B}$$

De kortste halveringstijd is bepalend!

# Recapitulatie

Voor fysisch, biologisch en effectief:

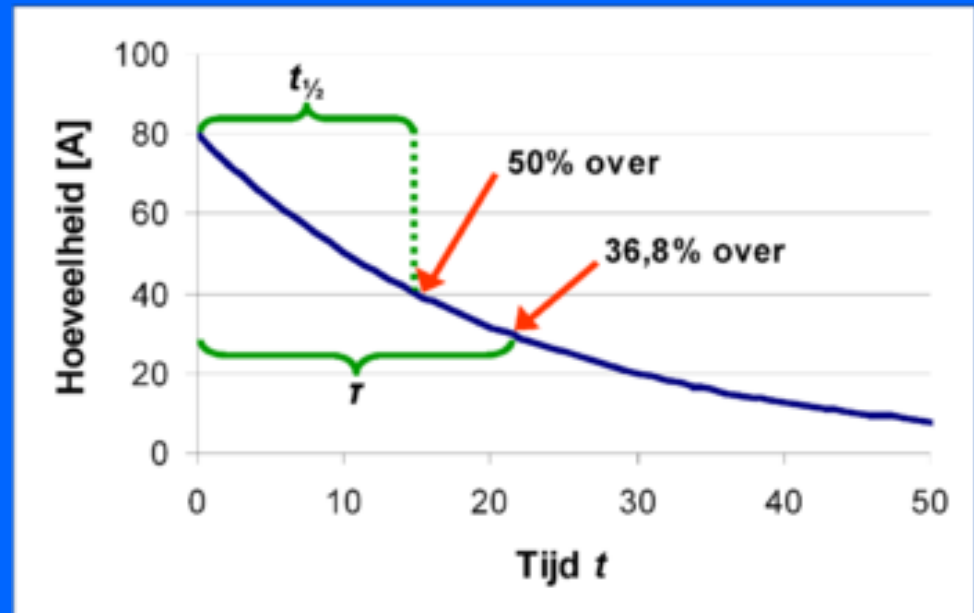
$$T_m = 1/\lambda \quad \text{of} \quad \lambda = 1/T_m$$

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda \quad \text{of} \quad \lambda = \ln 2/T_{1/2}$$

$$T_m = T_{1/2} / \ln 2$$

$$T_m = 1,44 T_{1/2}$$

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_R + \lambda_B$$



# $\beta$ - en $e^-$ -straling

Dracht van  $\beta$ 's en andere elektronen:

$$\rho R \leq \frac{1}{2} E$$

Voor lichaam geldt  $\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3$

Energie van  $\beta$ 's en  $e^-$  :  $E \leq 2 \text{ MeV}$

Dus dracht  $R \leq 1 \text{ cm}$

Bijna alle uitgezonden energie wordt ter plaatse

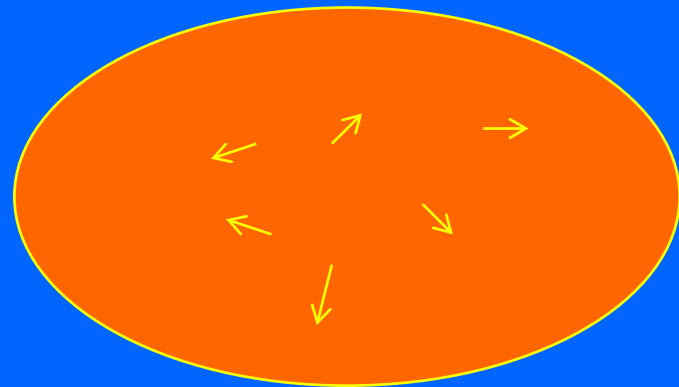
geabsorbeerd:  $E_{\text{abs}} = E_{\text{uitgezonden}}$

# Dosistempoformule voor $\beta$ -straling

Dosistempo in bronorgaan = doelorgaan =  
geabsorbeerde energie per seconde/massa

$$\dot{D}_T = A y \bar{E} / m_T \quad (\text{Gy/s})$$

$\bar{E} = E_{\text{gemiddeld}} !$   
E in J, m in kg

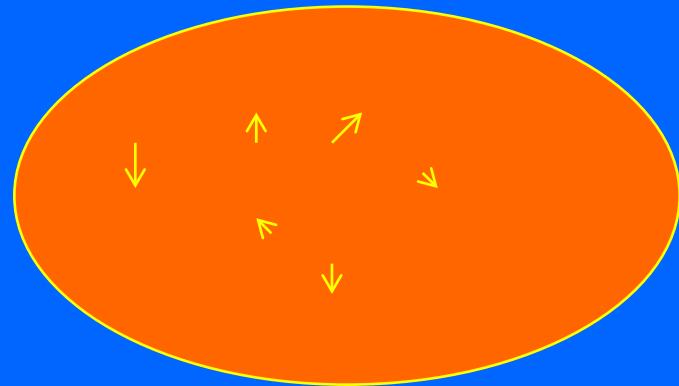


# Dosisformule voor $\beta$ -straling

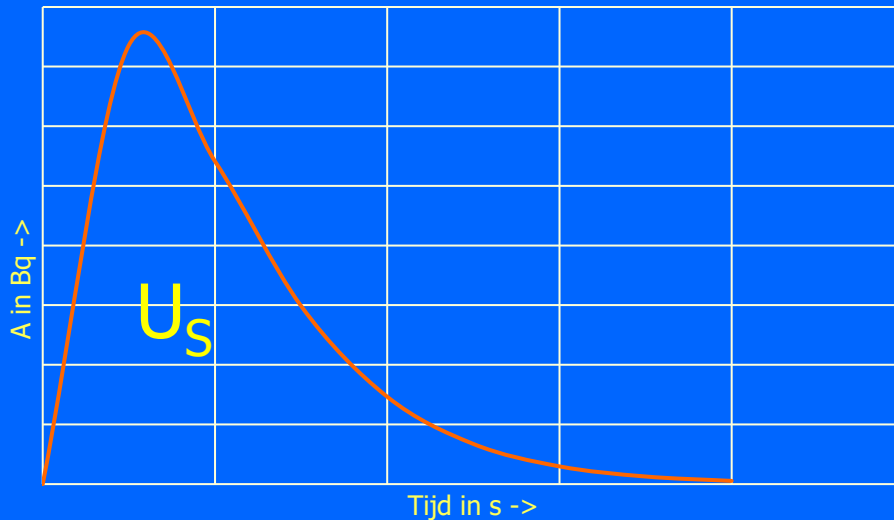
Volgdosis in doelorgaan =  
geabsorbeerde energie/massa

$$D_T = U_S \bar{y} \bar{E} / m_T \quad (\text{Gy})$$

$$U_S = \int_0^{50 \text{ j}} A(t) dt$$

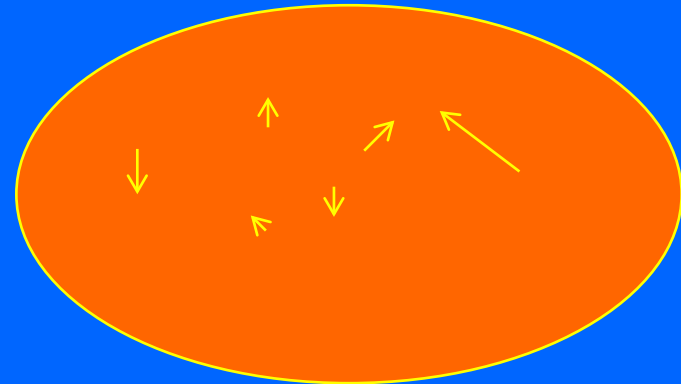


# Aantal desintegraties



$U_S$  in Bq·s  
= aantal  
desintegraties

$$U_S = \int_0^{50 \text{ j}} A(t) dt$$

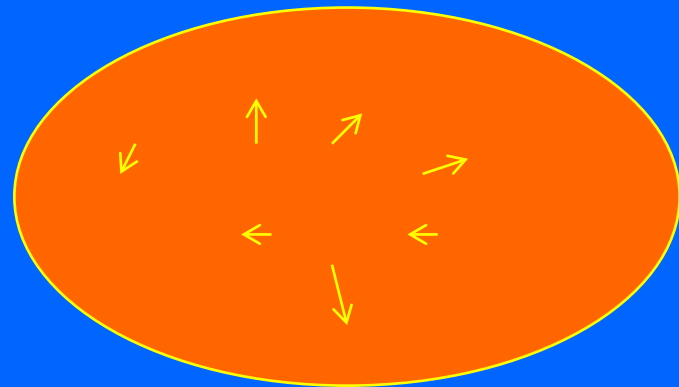


# Dosisformule voor $\beta$ -straling

Equivalentente volgdosis  $H_T = w_R D_T$

$$H_T = w_R U_S \gamma \bar{E} / m_T \quad (\text{Sv})$$

Voor alle  
elektronen:  
 $w_R = 1$

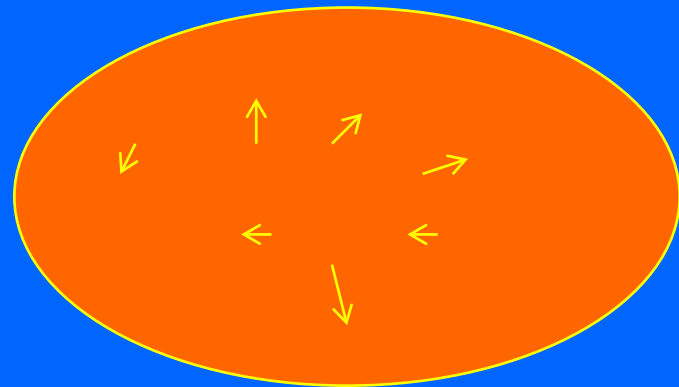


# Dosisformule voor $\beta$ -straling

Equivalentente volgdosis  $H_T = w_R D_T$

$$H_T = w_R U_S \gamma \bar{E} / m_T \quad (\text{Sv})$$

Voor alle  
elektronen:  
 $w_R = 1$





# Dosisformule voor $\beta$ - en $e^-$ -straling

$$H_T = U_S \gamma \bar{E} / m_T \quad (\text{Sv})$$

$U_S$  aantal desintegraties in Bq.s =

$$U_S = \int_0^{50 \text{ j}} A(t) dt$$

$\bar{E}$  = gemiddelde energie in J

$m$  in kg

$\gamma$  in  $(\text{Bq.s})^{-1}$

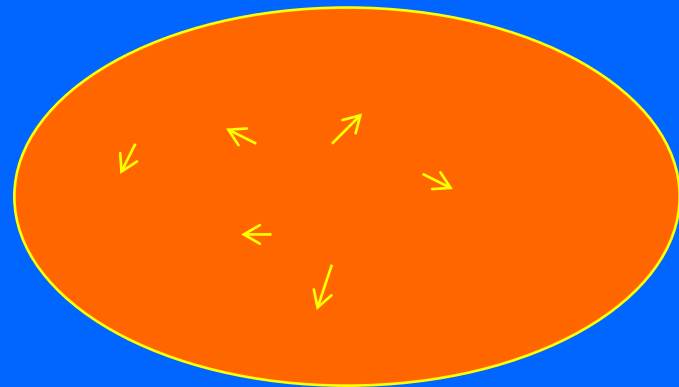
# Dosisformule voor $\alpha$ -straling

Dracht van alfa's  $\leq 0,1$  mm, dus

$$H_T = W_R U_S \gamma E_\alpha / m_T \quad (\text{Sv})$$

Voor alfa's:

$$W_R = 20 !$$



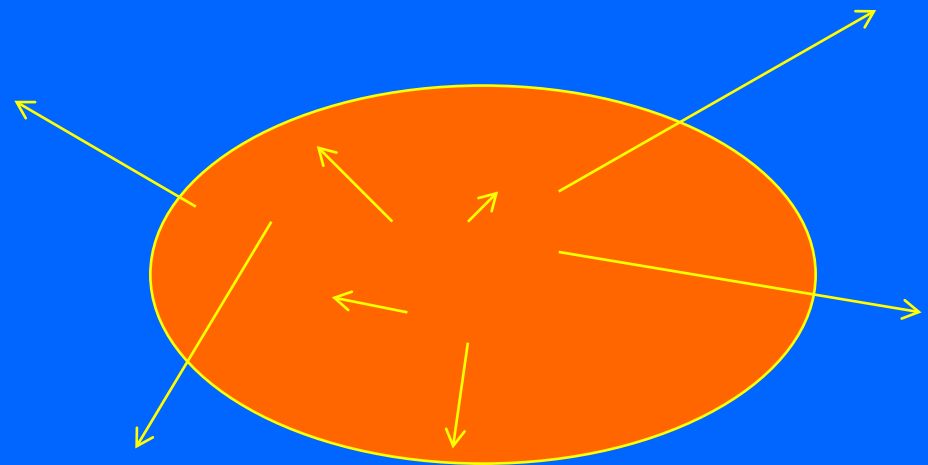
# Voor $\gamma$ -straling

Een deel van de  $\gamma$ -straling ontsnapt, er blijft een fractie AF over:

$$H_T = W_R U_S \gamma E AF (S \rightarrow T) / m_T$$

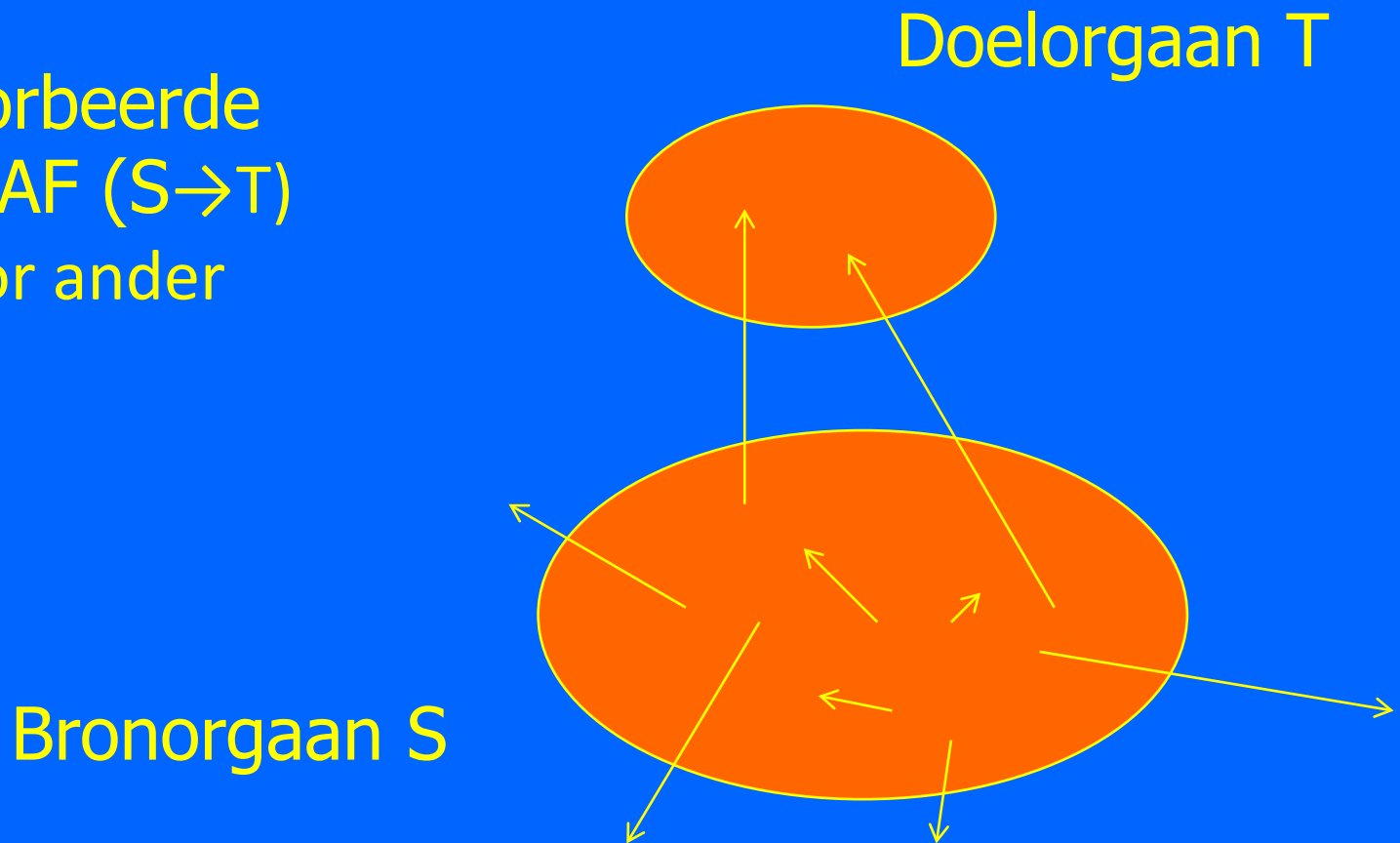
Geabsorbeerde fractie AF (S  $\rightarrow$  T)

$$W_R = 1$$



# Voor $\gamma$ -straling

Geabsorbeerde fractie  $AF (S \rightarrow T)$  ook voor ander orgaan



# Algemene formule

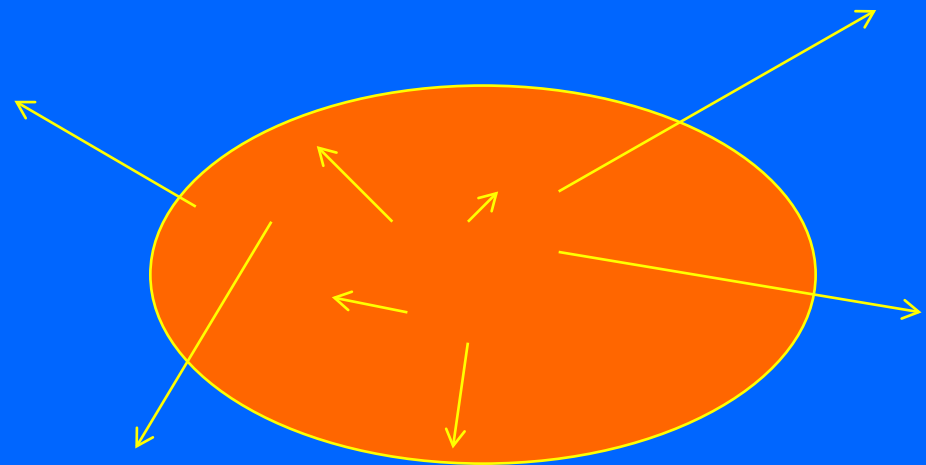
Voor alle soorten straling geldt

$$H_T = W_R U_S \gamma E AF (S \rightarrow T) / m_T$$

Voor  $\alpha$  en  $\beta$  straling

$AF = 1$  voor  $T=S$

$AF = 0$  voor  $T \neq S$



# Algemene formule

Sommeren over alle uitgezonden deeltjes  $i$

$$H_T = U_S \sum_i [y_i E_i w_{Ri} AF_i(S \rightarrow T)] / m_T$$

Sommeren over alle bronorganen  $S$

$$H_T = \sum_S U_S \sum_i [y_i E_i w_{Ri} AF_i(S \rightarrow T)] / m_T$$

# Algemene formule

---

Voor de berekening van effectieve volgdosis  $E(50)$  sommeren over alle doelorganen  $T$  met weefselweegfactor  $w_T$

$$E(50) = \sum_T w_T H_T (50)$$

# Formule

$$e(50) = \sum_T w_T \sum_S U_S(50) \sum_i w_{R,i} \frac{y_i \bar{E}_i A F_i(ST)}{m_T}$$

↑  
Effectieve  
volgdosis  
per Bq

↑  
Weefsel-  
weegfactor

↑  
Stralings  
weegfactor

↑  
Geabsorbeerde  
fractie

↑  
Aantal desintegraties  
in bronorgaan S per  
ingenomen Bq

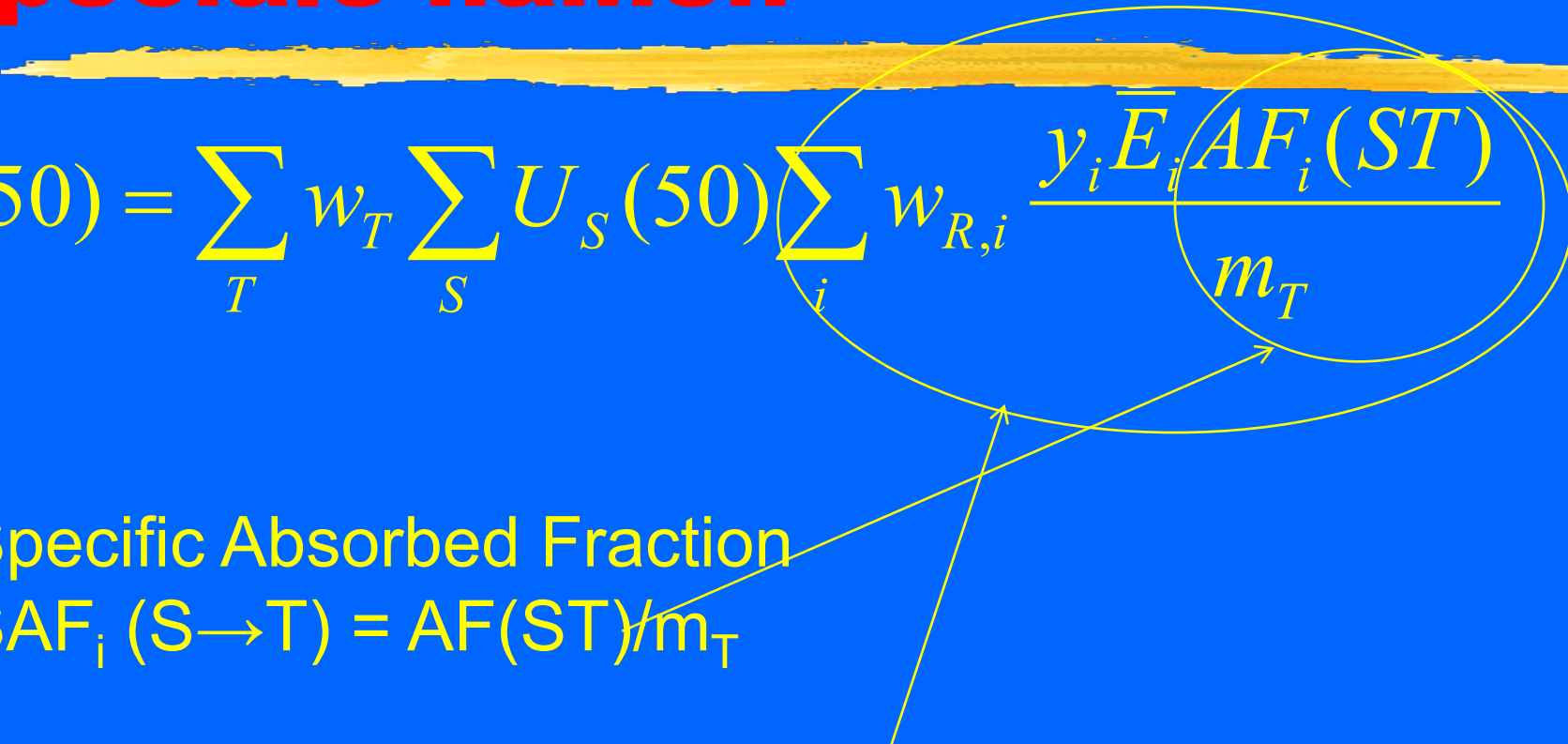
↑  
Uitgezonden  
energie per  
desintegratie

↑  
Bestraald  
orgaan T

↑  
Massa bestraald  
orgaan T



# Speciale namen

$$e(50) = \sum_T w_T \sum_S U_S(50) \left( \sum_i w_{R,i} \frac{y_i \bar{E}_i AF_i(ST)}{m_T} \right)$$


Specific Absorbed Fraction  
 $SAF_i (S \rightarrow T) = AF(ST)/m_T$

Specific Effective Energy  $SEE(S \rightarrow T)$

# Welke gegevens zijn nodig voor dosisberekening?

- Energie van uitgezonden deeltjes:  $E_i$
- Aantal uitgezonden deeltjes per desintegratie:  $y_i$
- Aantal desintegraties in bronorgaan:  $U_S$
- Stralingsweefactor  $w_R$  (1 voor  $\beta\gamma$ , 20 voor  $\alpha$ )
- Geabsorbeerde fracties AF (S→T)
- Massa van doelorgaan  $m_T$

# Uitgezonden energie $E_i$ per desintegratie $y_i$

Uit ICRP-38, ICRP-107  
en Radionuclide Handbook

Voorbeeld  $^{131}\text{I}$

Type	$y$ (Bq·s) <sup>-1</sup>	$E$ (keV)
$\beta^-$	0,89	192   606
$\gamma_1$	0,03	80
ce K $\gamma_1$	0,04	46
$\gamma_2$	0,06	284
$\gamma_3$	0,82	364

# Geabsorbeerde fractie AF

---

AF(S→T) voor alfa's en elektronen:

AF = 1 als S=T en AF = 0 als S≠T

Voor fotonen: berekening via Monte Carlo-methode.

(met computer en mens-model)

# AF vinden uit tabel

Bronorgaan: hele lichaam

Doelorgaan: hele lichaam

Fotonenergie

E	<u>0,01</u>	<u>0,05</u>	<u>0,20</u>	<u>1,00</u>	<u>4,00 MeV</u>
AF	0,99	0,57	0,35	0,33	0,24

Bv. voor 1 MeV-fotonen wordt 33% geabsorbeerd.

# Massa van organen $m_T$

Massa's voor referentiemans van 70 kg  
Gemiddeld mens met twee geslachtsorganen

In de toekomst

Massa man en massa vrouw (Golem/Laura)

Voxelmodel:  $H_T = \frac{1}{2} [H_{\text{man}} + H_{\text{vrouw}}]$

# Massa van organen $m_T$ voor referentiemans

<u>Orgaan/weefsel</u>	<u>Massa (kg)</u>
Longen	1,00
Nieren (2)	0,31
Lever	1,80
Spier	28,0
Vet	15,0
Rood beenmerg	1,5
Huid	2,6
++	++
Som	70

# In toekomst

Massa man en massa vrouw  
(Golem/Laura)  
Nieuw model: Voxelmiddel

Bovendien

$$H_T = \frac{1}{2} [H_{\text{man}} + H_{\text{vrouw}}]$$

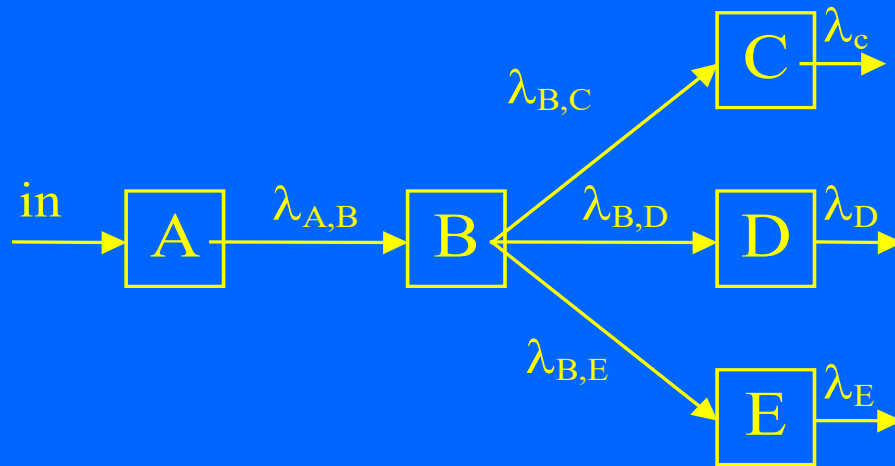




# Welke gegevens waren ook al weer nodig?

- Energie van uitgezonden deeltjes:  $E_i$
- Aantal uitgezonden deeltjes per desintegratie:  $y_i$
- Stralingsweegfactor  $w_R$  (1 voor  $\beta\gamma$ , 20 voor  $\alpha$ )
- Geabsorbeerde fracties AF (S $\rightarrow$ T)
- Massa van doelorgaan  $m_T$
- Aantal desintegraties in bronorgaan:  $U_S$

# Aantal desintegraties $U_s$

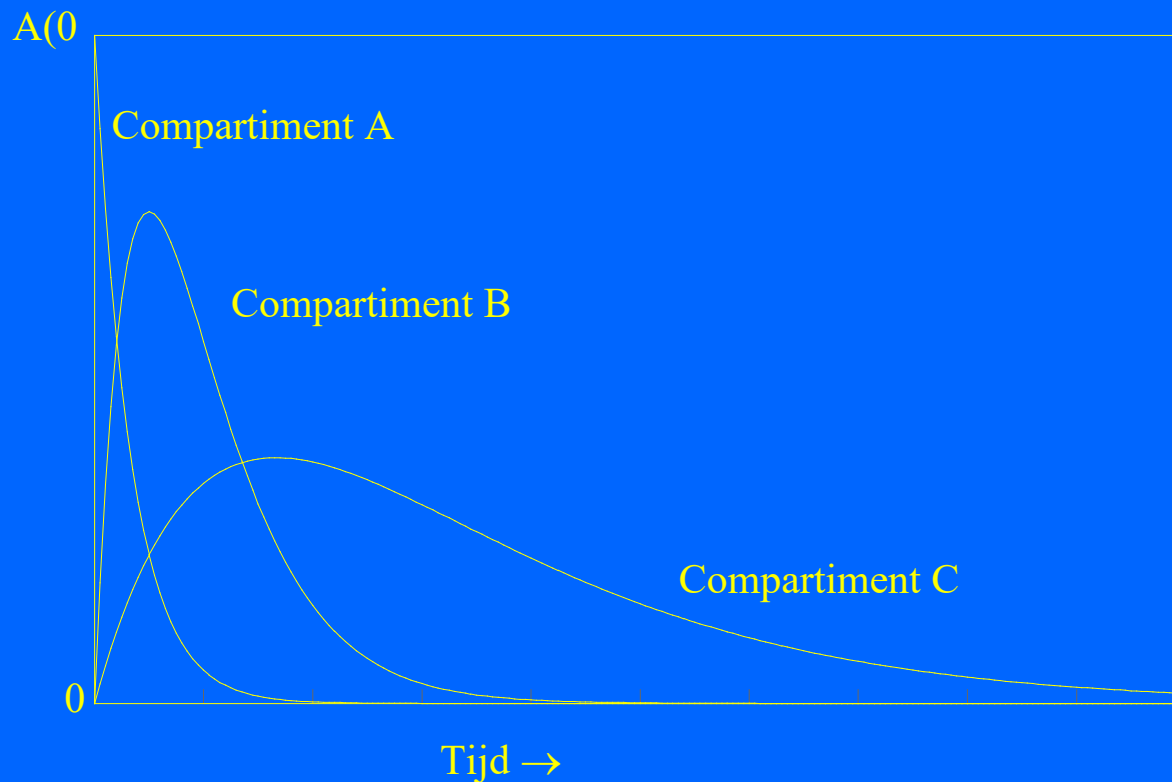


Figuur 10.5.1 Compartimentenmodel

$\lambda$  is de fractie die per seconde naar  
volgend orgaan gaat

$$\lambda = 1/T_{\text{gem}} \text{ of } \lambda = \ln 2/T_{1/2,B}$$

# Aantal desintegraties $U_s$



Figuur 10.5.2 Activiteit in opeenvolgende organen (niet op schaal)

# Aantal desintegraties $U_S$

Effectieve verwijderingsconstante:

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_R + \lambda_{A,B}$$

Aantal desintegraties in eerste orgaan:

$$U_S = \int_0^{50j} A(0) \exp(-\lambda_{A,B}t - \lambda_R t) dt = \frac{A(0)}{\lambda_{A,B} + \lambda_R} = \frac{A(0)}{\lambda_{\text{eff}}} = A(0)T_m$$

# Aantal desintegraties $U_s$

Differentiaal vergelijking voor  $A_B$  in volgende organen:

$$\frac{dA_B}{dt} = +\lambda_{A,B}A_A - (\lambda_{B,C} + \lambda_{B,D} + \lambda_{B,E} + \lambda_R)A_B$$

Aantal desintegraties in orgaan B:

$$U_B = \frac{\lambda_{A,B}}{\lambda_{B,C} + \lambda_{B,D} + \lambda_{B,E} + \lambda_R} U_A = \frac{\lambda_{in}}{\lambda_{uit}} U_A$$

# Aantal desintegraties $U_s$

Integratie van de differentiaalvergelijking

$$\int_0^{50j} \frac{dA_B}{dt} dt = +\lambda_{A,B} \int_0^{50j} A_A dt - (\lambda_{B,C} + \lambda_{B,D} + \lambda_{B,E} + \lambda_R) \int_0^{50j} A_B dt$$

$$A_B(50j) - A_B(0) = +\lambda_{A,B} U_A - (\lambda_{B,C} + \lambda_{B,D} + \lambda_{B,E} + \lambda_R) U_B = 0$$

Als  $A_B=0$  na 50 j: 
$$U_B = \frac{\lambda_{A,B}}{\lambda_{B,C} + \lambda_{B,D} + \lambda_{B,E} + \lambda_R} U_A = \frac{\lambda_{in}}{\lambda_{uit}} U_A$$

# Aantal desintegraties $U_s$

Integratie differentiaalvergelijkingen hoort niet tot de stof!

Wél enkele bijzondere gevallen:

1. Eerste orgaan (maag of long)
2. Hele lichaam als orgaan
3. Bij lange fysische halveringstijd  $T_R$

# Aantal desintegraties $U_S$

Eerste orgaan (maag of long of bloed)

$$U_S = A_S T_{m,eff}$$

$A_S$  = activiteit die orgaan S bereikt (Bq)

$T_{m,eff}$  = effectieve gemiddelde verblijftijd (s)



# Aantal desintegraties $U_S$

Hele lichaam (WB) als orgaan!

$$U_{WB} = A_{WB} T_{m,eff}$$

$A_S$  = activiteit die hele lichaam bereikt (Bq)

$T_{m,eff}$  = effectieve gemiddelde verblijftijd (s)

# Aantal desintegraties $U_S$

Voor radionucliden met lange halveringstijd (tov biologische) geldt voor alle organen:

$$U_S = A_S T_{m, \text{biol}}$$

Met  $A_S$  activiteit die orgaan S bereikt

$T_m$  gemiddelde verblijftijd in orgaan S

(biologisch natuurlijk, want  $T_{1/2,R}$  is lang).

# Voorbeelden $U_s$ eerste orgaan

Voorbeeld:  $1\text{MBq } ^{99\text{m}}\text{Tc}$  in maag

Gemiddelde verblijftijd maag:  $T_m = 1$  uur

Fysische halveringstijd:  $T_{1/2} = 6$  uur

$$U_{\text{maag}} = A_{\text{in}} * T_{\text{m,eff}} \quad (\text{eerste orgaan})$$

$$1/T_{\text{m,eff}} = 1/1 + \ln 2/6 = 1,12 \quad \text{uur}^{-1}$$

$$T_{\text{m,eff}} = 0,9 \text{ uur} = 3230 \text{ s} = 3,23 \times 10^3 \text{ s}$$

$$U_{\text{MAAG}} = 1 \times 10^6 \text{ Bq} \times 3,23 \times 10^3 \text{ s} =$$

$$U_{\text{MAAG}} = 3,23 \times 10^9 \text{ Bq.s}$$

# Voorbeelden $U_s$ hele lichaam

Voorbeeld: 1 Bq  $^3\text{H}^1\text{HO}$

Biologische halveringstijd:  $T_{1/2} = 10$  dagen

Fysische halveringstijd:  $T_{1/2} = 12$  jaar

$$U_{\text{WB}} = A_{\text{in}} * T_{\text{m,eff}}$$

$$T_{\text{m,eff}} = 10 \text{ d} / \ln 2 = 14,4 \text{ d} = 14,4 \times 24 \times 3600 = 1,25 \times 10^6 \text{ s}$$

$$U_{\text{WB}} = 1 \text{ Bq} \times 1,25 \times 10^6 \text{ Bq} \quad (A_{\text{in}} = 1 \text{ Bq})$$

$$U_{\text{WB}} = 1,25 \times 10^6 \text{ Bq.s}$$

# Voorbeelden $U_S$ berekening

Voorbeeld:  $^{36}\text{Cl}$  ( $T_{1/2,R} = 300.000 \text{ j}$ )

Inhalatie van 100 Bq

75% komt in hele lichaam,  $T_{1/2,B} = 44 \text{ d}$

$$U_S = A_S T_m = 75 \text{ Bq} \times 44 \text{ d} / \ln 2 =$$

$$= 75 \times 44 \times 24 \times 3600 / 0,693 = 4,1 \times 10^8 \text{ Bq.s}$$

# Voorbeelden $U_S$ lange $T_{1/2,R}$

Voorbeeld:  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2,R} = 1,57 \times 10^7$  j)

Ingestie van 1 Bq

30% komt in schildklier,  $T_{1/2,B} = 90$  d

$$U_S = A_S T_m = 0,3 \text{ Bq} \times 90 \text{ d} / \ln 2 =$$

$$= 0,3 \times 90 \times 24 \times 3600 / 0,693 = 3,4 \times 10^6 \text{ Bq.s}$$

# Retentiefunctie

Soms meer dan één biologische halveringstijd:

Retentiefunctie (alleen biologisch natuurlijk)

$$R(t) = a_1 \exp(-\ln 2 t/T_1) + a_2 \exp(-\ln 2 t/T_2)$$

Cs 20%  $T_{1/2} = 2$  d; 80%  $T_{1/2} = 110$  d

$$R(t) = 0,2 \exp(-\ln 2 t/2) + 0,8 \exp(-\ln 2 t/110)$$

# Jongste modellen

Met terugkoppelingen!

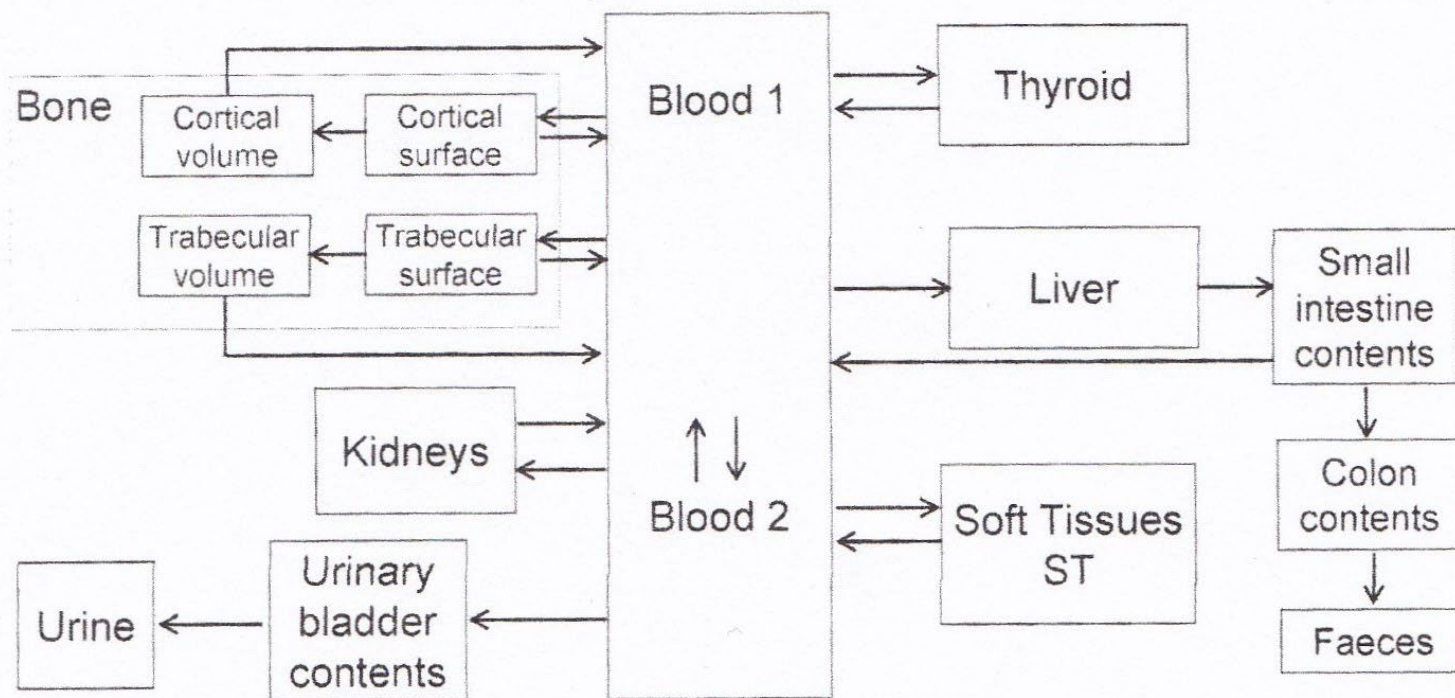


Fig. 4.1. Systemic model for tellurium.

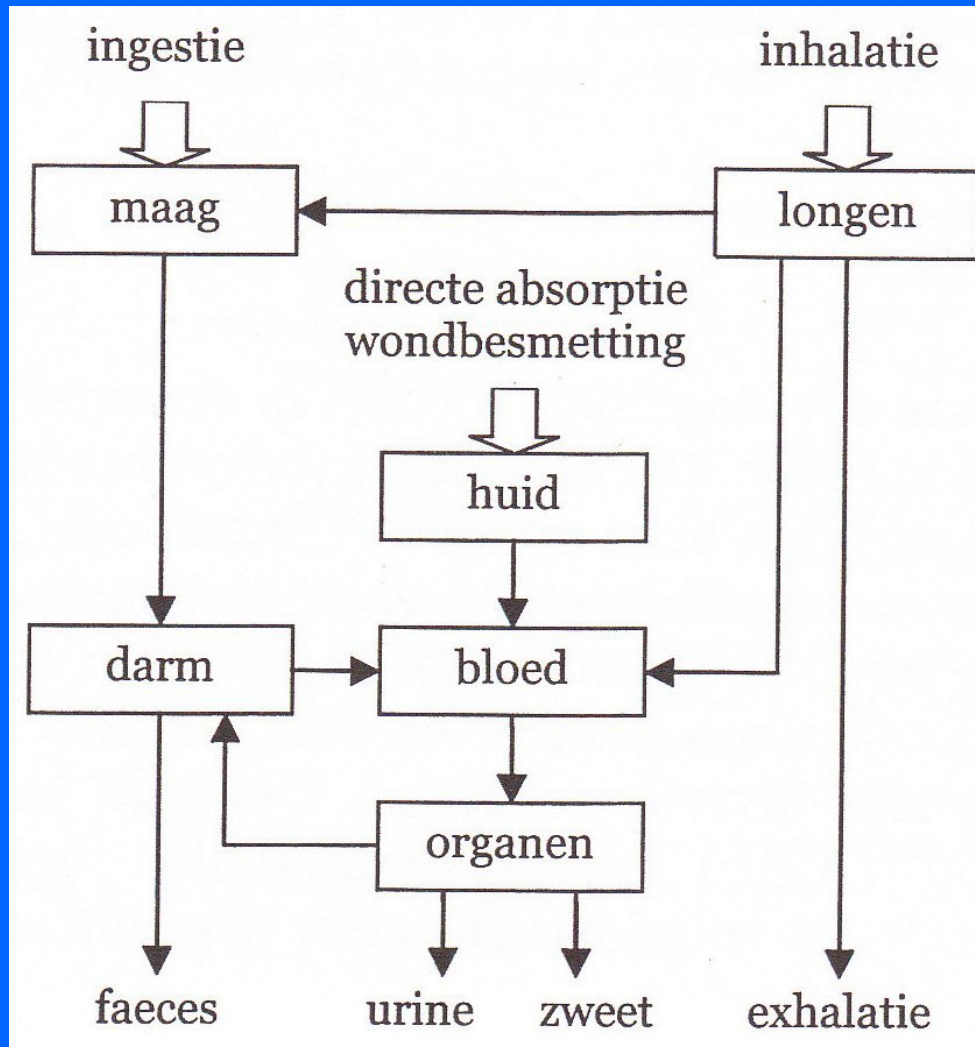


# Einde algemeen deel

---

- Alle parameters te vinden:
- Energie van uitgezonden deeltjes:  $E_i$
- Aantal uitgezonden deeltjes per desintegratie:  $y_i$
- Stralingsweegfactor  $w_R$  (1 voor  $\beta\gamma$ , 20 voor  $\alpha$ )
- Geabsorbeerde fracties AF (S $\rightarrow$ T)
- Massa van doelorgaan  $m_T$
- Aantal desintegraties in bronorgaan:  $U_S$

# Besmettingsroute



# Maagdarm modellen



Geldt voor ingestie  
(maar indirect ook na inhalatie)

# Model voor Maagdarmkanaal



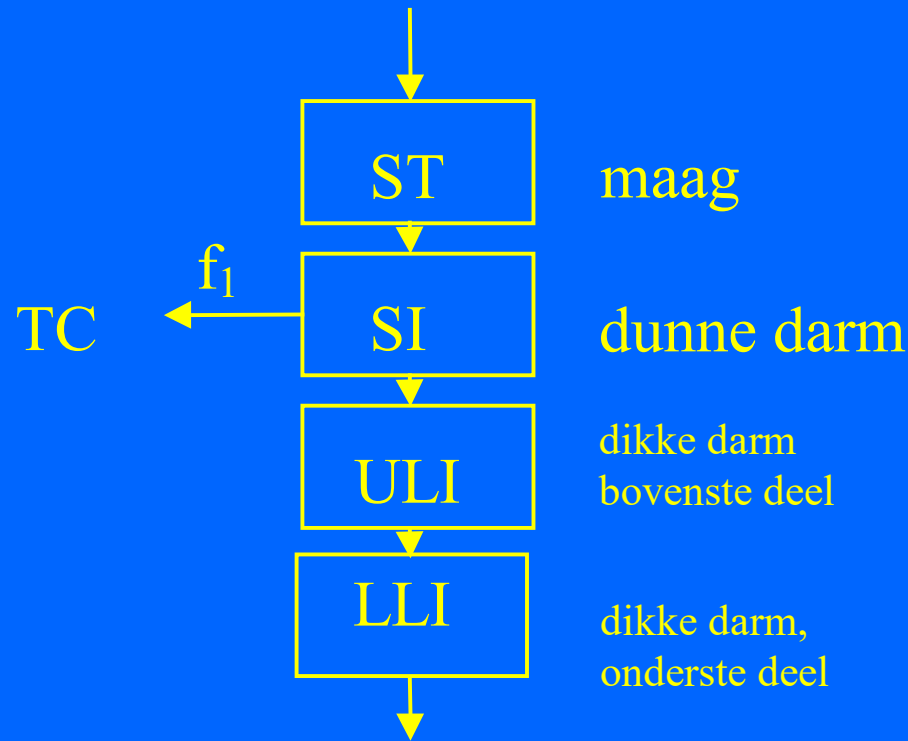
Er zijn twee modellen:

Huidig model: 4 compartimenten

Nieuw model (ICRP-100)

Human Alimentary Tract Model (HATM)  
met 7 compartimenten

# Huidig model Maagdarmkanaal



Figuur 10.6.1 Model van het maagdarmkanaal  
TC - transfercompartiment = bloed

# Maagdarmkanaal

Gemiddelde verblijftijden  $T_m$  (h)

Maag	1
Dunne darm	$4(1-f_1)^*$
Dikke darm (ULI)	13
Dikke darm (LLI)	24

\* Verblijf wordt korter bij grotere opname in bloed!

# Maagdarmkanaal

$U_S$  voor langlevend nuclide met  $f_1$  en  
 $A_{in} = 1 \text{ Bq}$

Volgens  $U_S = A_S T_m$  (in Bq.s)

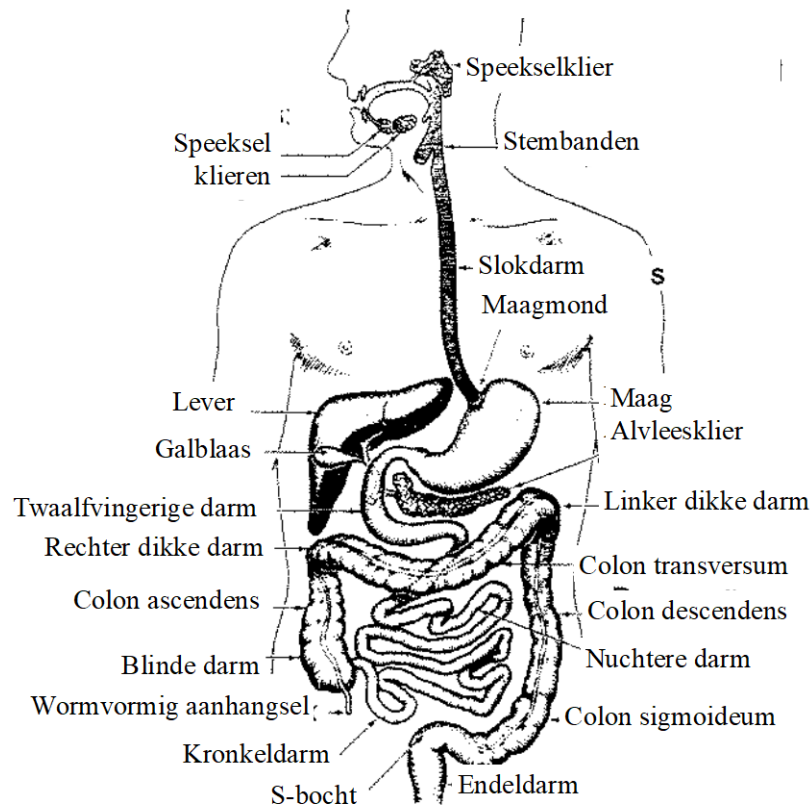
$$U_{\text{maag}} = 1 \text{ Bq} \cdot T_m = 3600 \text{ Bq} \cdot \text{s} \quad (= 1 \text{ Bq} \times \text{verblijftijd } 1 \text{ u} = 3600 \text{ s})$$

$$U_{\text{SI}} = (1-f_1) T_m = (1-f_1) \cdot 1,44 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{s}$$

$$U_{\text{ULI}} = (1-f_1) T_m = (1-f_1) \cdot 4,67 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{s}$$

$$U_{\text{LLI}} = (1-f_1) T_m = (1-f_1) \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{s}.$$

# Spijsverteringskanaal, HATM model





# Spijsverteringskanaal, HATM model



# HATM

## Verblijftijden

Deel van het spijsverteringskanaal	Verblijftijd voor > 1 jaar	
	Man	Vrouw
Mondholte	12 s	
Slokdam	7 s (90%); 40 s (10%)	
Maag	70 min	95 min
Dunne darm	4 uur	
Linker dikke darm	12 uur	16 uur
Rechter dikke darm	12 uur	16 uur
Endeldarm	12 uur	16 uur

# Holle orgaan: Model

Slokdarm, maag, dunne en dike darm



# Einde maagdarmmodel



Begrippen:

Compartimenten met verblijftijden

Opname in bloed  $f_1$  of  $f_A$

Hol orgaan: doel = gevoelige cellen

# Model ademhalingswegen

## Indeling

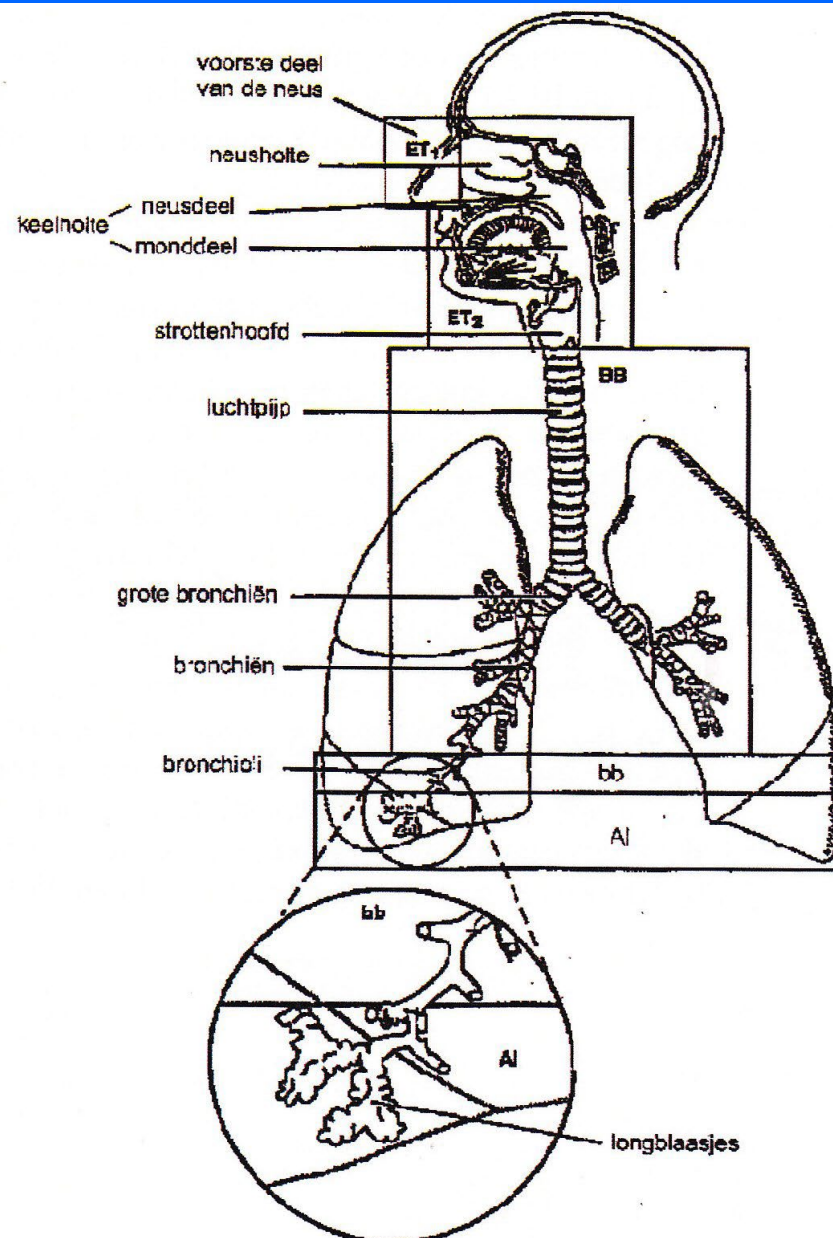
---

- Aerosolen:
  - Depositie aerosolen
  - Zuivering
- Dampen
- Gassen

# Anatomie

## HRTM

Human  
Respiratory  
Tract  
Model



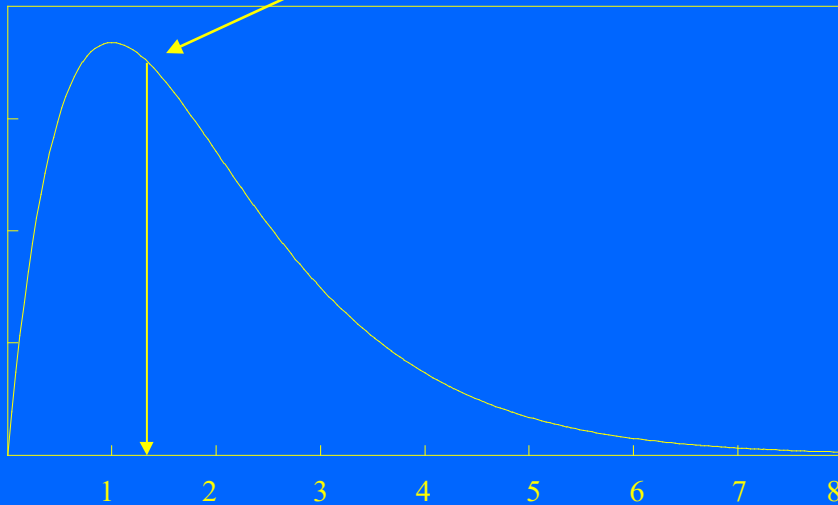
# Ademhalingswegen



- ET (Extra-thoracaal = neus/keel/mond)
- BB (Bronchiën = grote luchtpijpen)
- bb (Bronchiolen = kleine luchtpijpjes)
- AI (Alveolair interstitium = longblaasjes)

# Aërosolen

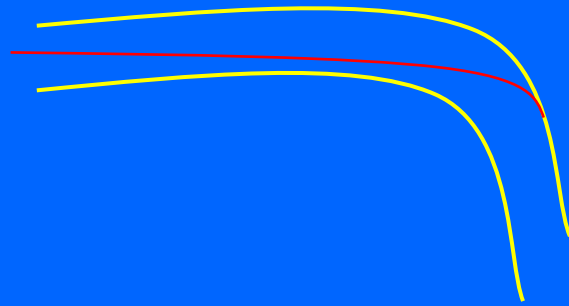
- Kleine deeltjes in lucht
- Afmetingen 0,01-100  $\mu\text{m}$
- Lognormale verdeling: mediaan van belang
- AMAD = mediane aërodynamische diameter





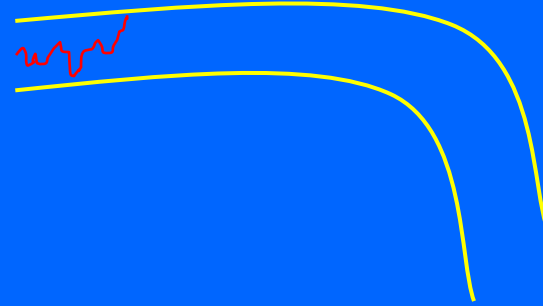
# Depositie in ademhalingswegen

Impaktie



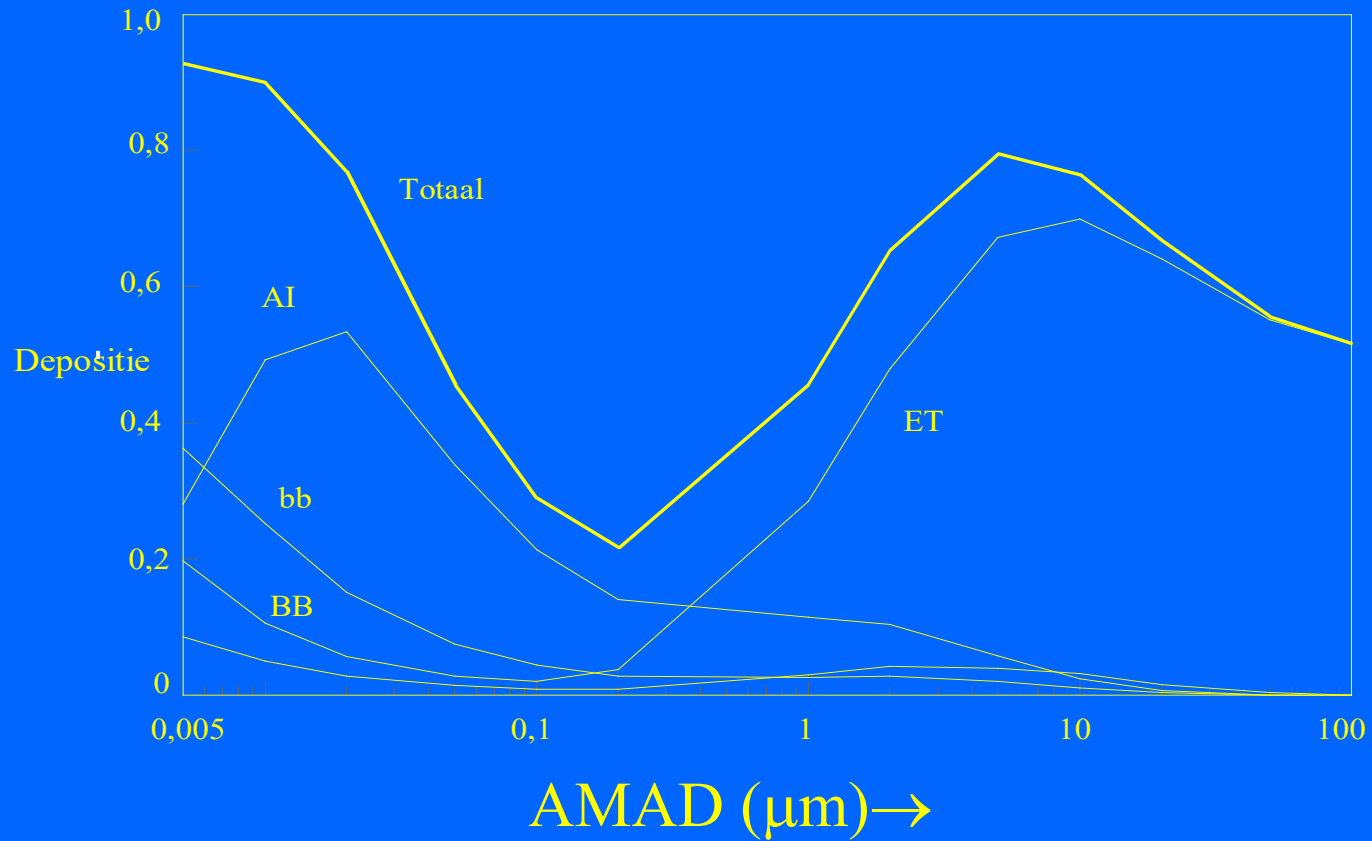
Grote deeltjes  
"uit de bocht vliegen"

Brownse beweging



Kleine deeltjes  
"botsen met luchtdeeltjes"

# Depositie

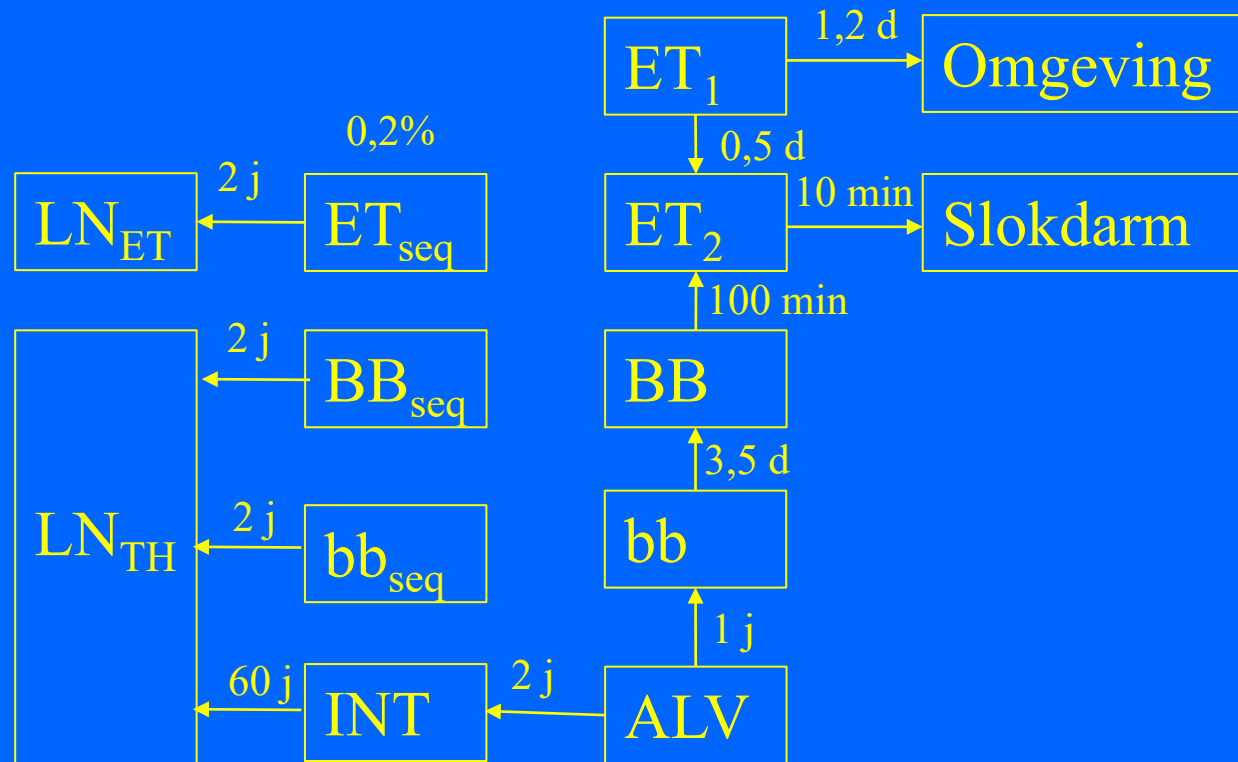


# Default diameter

## ➤ Werkers (5 $\mu\text{m}$ )      Bevolking (1 $\mu\text{m}$ )

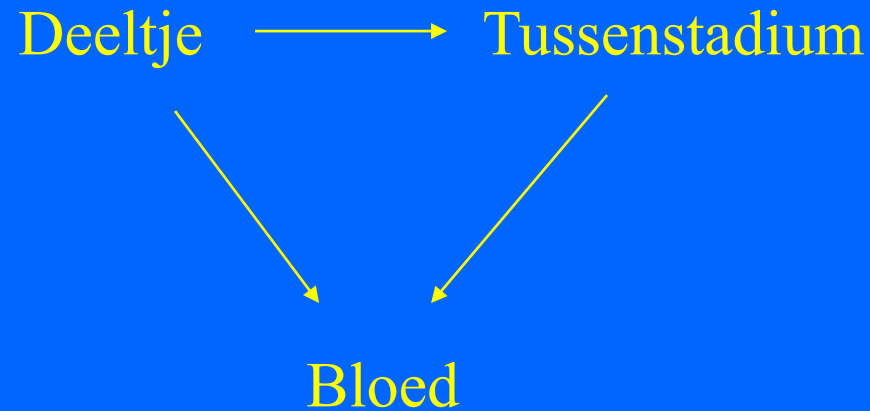
	Depositie	Depositie
▪ ET1	0,34	0,14
▪ ET2	0,40	0,18
▪ BB	0,012	0,006
▪ bb	0,007	0,011
▪ <u>AI</u>	<u>0,053</u>	<u>0,12</u>
▪ Som	0,81	0,46

# Longzuivering (mechanisch, verblijftijden)



Biologische halveringstijden zijn aangegeven

# Longzuivering (chemisch)



Overal in de ademhalingswegen!

# Longzuivering (chemisch)

---

## Indeling:

- Klasse F (Fast)
- Klasse M (Moderate)
- Klasse S (Slow)

# Longzuivering (chemisch)

Klasse	Fractie	Verblijftijd
➤ Klasse F	1	30 min
➤ Klasse M	0,1	6 h
	0,9	140 d (20 w)
➤ Klasse S	0,001	6 h
	0,999	7000 d (20 j)
Klasse V	1	Zeer snel

# Voorbeeld: $^{60}\text{CoO}$ in ALV

ALV = deel van Alveolair Interstitium (AI)

Depositie in ALV: 5,3% (werker)

12% (bevolking)

Activiteit verdwijnt door:

Klasse S !

Transport naar bb

Transport naar INT

Oplossen in bloed

Radioactief verval

$T_{1/2}$

$\lambda$  ( $\text{d}^{-1}$ )

1 j

0,002

2 j

0,001

20 j

0,0001

5,3 j

0,0004

$$\lambda_{\text{eff}} = 0,0035 \text{ d}^{-1}$$

Effectieve halveringstijd:  $\ln 2 / 0,0035 = 200 \text{ d!}$



# Referentiemens

Inhalatievolumetempo:

Lichte werkzaamheden 1,2 m<sup>3</sup> /h

		Werker	Volwassene
Slaap	0,45 m <sup>3</sup> /h	-	8 h/d
Zitten	0,54 m <sup>3</sup> /h	2,5 h/d	6 h/d
Lichte inspanning	1,5 m <sup>3</sup> /h	5,5 h/d	9,75 h/d
Grote inspanning	3 m <sup>3</sup> /h	-	0,25 h/d

# Inname bij inhalatie

Bij activiteitsconcentratie  $C$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )

$$\text{Inname} = C (\text{Bq}/\text{m}^3) \times V (1,2 \text{ m}^3 / \text{h}) \times t (\text{h})$$

# Recapitulatie aerosolen

Compartimenten (ET, BB, bb, AI)

Depositie afh. van AMAD

Longzuivering door transport en oplossen

Klasse-indeling voor zuivering: F, M, S

Fractie van inhalatie in bloed afh. van FMS.

# Voorbeelden

## Inhalatie van $^{32}\text{P}$

### Inhalation

Compound	Class	AMAD ( $\mu\text{m}$ )	e(50) (Sv/Bq)
$\text{Na}_3^{32}\text{PO}_4$	F	1	$9,4 \times 10^{-10}$
	F	5	$1,3 \times 10^{-9}$
$\text{Sn}_3(^{32}\text{PO}_4)_2, \text{Y}^{32}\text{PO}_4,$ $\text{Zn}_3(^{32}\text{PO}_4)_2$ and	M	1	$2,0 \times 10^{-9}$
unspecified compounds	M	5	$1,4 \times 10^{-9}$

# Dampen, gassen

---

- Depositie afhankelijk van
- Oplosbaarheid (*Solubility*) S
- Reactiviteit (*Reactivity*) R
- Indeling in SR-klasse
- SR-0: niet oplosbaar, niet reactief
- SR-1: Matig oplosbaar, reactief
- SR-2: goed oplosbaar, sterk reactief

# SR-2-dampen

---

- Oplosbaar:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$
- Reactief:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{UF}_6$
- Depositie alleen in  $\text{ET}_2$ !

# SR-1-dampen

---

- Zwaveldamp  $\text{H}_2\text{S}$
- Nikkelcarbonyl  $\text{Ni}(\text{CO})_4$
- Kwikdamp  $\text{Hg}$
- Jodiumdampen  $\text{I}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{I}$
- $\text{RuO}_4$ ,  $\text{Tc}_2\text{O}_7$
- Depositie: 30% ET, 30% BB/bb, 40% AI
- Gedrag als klasse F

# SR-0-gassen

---

- Edelgassen
- Alleen submersie!
- Dosisconversiecoëfficiënt  $e$  in Sv/h per Bq/m<sup>3</sup> (effectieve dosis)

Aparte berekeningswijze volgt later



# Botmodel



Sommige stoffen zijn botzoekers

Voorbeelden:

Aardalkalimetalen Ca, Ba, Sr, Ra

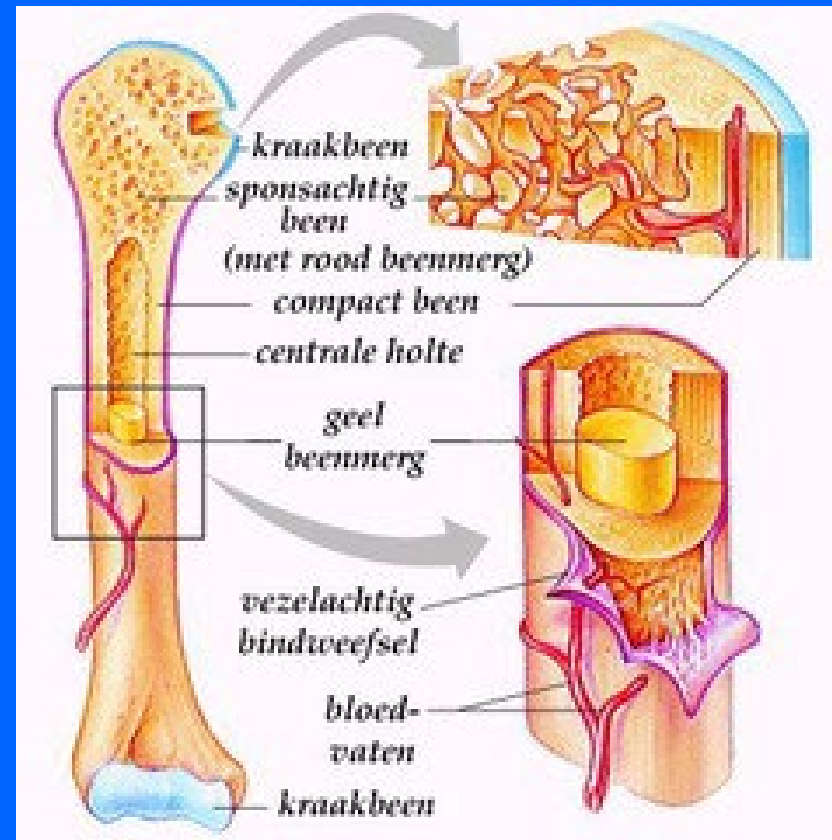
Fosforverbindingen P

Transuranen Np, Pu, Am, Cf

# Botmodel

Twee soorten bot:  
Compact bot  
Sponsachtig bot

Rood beenmerg in  
sponsachtig bot!



# Referentiemens

	Massa	Oppervlak
Compact bot	4 kg	6 m <sup>2</sup>
Sponsachtig bot	1 kg	6 m <sup>2</sup>

Botoppervlak (12 m<sup>2</sup>) x 10 μm x 1 g/cm<sup>3</sup> = 120 g;  $w_T = 0,01$

Roodbeenmerg 1,5 kg  $w_T = 0,12$   
Alléén in sponsachtig bot!

# Botmodel

Twee soorten botzoekers:

- Oppervlaktezoekers

Verdeeld over oppervlak, dus  $\frac{1}{2}$  in compact bot,  $\frac{1}{2}$  in sponsachtig bot.

- Volumezoekers

Verdeeld over volume, dus  $\frac{4}{5}$  in compact bot,  $\frac{1}{5}$  in sponsachtig bot

# Samenvatting

Dosisconversiecoëfficiënt  $e(50)$  of  $e(\tau)$  wordt bepaald door:

- Referentiemens (massa, afmetingen)
- Stralingsweegfactoren
- Weefselweegfactoren
- Uitgezonden energie
- Geabsorbeerde energie
- Modellen (HATM, HRTM, systeem)
- Opname in bloed
- Keuze AMAD bij inhalatie

# Samenvatting

Basis berekening effectieve volgdosis

$$E = A_{in} e(50)$$

- 1) Waar vind ik  $e(50)$ ?
- 2) Hoe groot is de inname  $A_{in}$ ?

**NB: Volgdosis toeschrijven aan jaar van inname**